

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR
EN EL AJI DULCE (*Capsicum annum*) DURANTE EL SECADO POR VENTANA
REFRACTIVA**



**MARÍA CECILIA PADILLA GÓMEZ
JULIETH TATIANA SUÁREZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BERÁSTEGUI - CÓRDOBA
2021**

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR
EN EL AJI DULCE (*Capsicum annum*) DURANTE EL SECADO POR VENTANA
REFRACTIVA**

MARÍA CECILIA PADILLA GÓMEZ
JULIETH TATIANA SUÁREZ HERNÁNDEZ

Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE ALIMENTOS

FABIÁN ORTEGA QUINTANA I.A., M.Sc., Ph.D.
Director

OMAR PÉREZ SIERRA I.Q., M.Sc., Ph.D.
Co-director

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BERÁSTEGUI - CÓRDOBA
2021

Los derechos sobre los textos y las imágenes incluidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Universidad de Córdoba.

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto será de los autores.

(Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba)

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

- ✓ *Dedico este trabajo primero a Dios por permitirme llegar hasta este punto en la vida, lograr un sueño que desde niña soñé (prepararme para ser profesional)*
- ✓ *A mi Madre Mirna del Carmen por su dedicación, esfuerzo, y apoyo incondicional para que saliera adelante.*
- ✓ *A mi abuela Lucinda Gómez porque con su amor me motivo cada día a ser una mejor persona en el ámbito personal y profesional.*
- ✓ *A mis hermanas, amigos y todas aquellas personas que sembraron en mí, con una palabra, con una oración y con apoyo material.*
- ✓ *A mi tutor y codirector que me apoyaron incondicionalmente en el proceso.*

María Cecilia Padilla Gómez

DEDICATORIA

- ❖ *Dedico este trabajo a Dios y al Universo por guiar mis pasos hacia esa promesa hecha algunos años atrás, sin duda LOS SUEÑOS SE HACEN REALIDAD con perseverancia y paciencia.*
- ❖ *A mi familia por su incondicional amor, dedicación, apoyo moral y esfuerzo a lo largo de mi carrera universitaria, sin ellos no sería quién soy.*
- ❖ *Al PhD. Deivis Luján Rhenals por ser un gran profesional, un ser con una calidad humana única y excepcional y un gran amigo; admiración y respetos.*
- ❖ *Al MsC. Gabriel Vélez Hernández por ser un padre, aconsejarme y guiarme a lo largo de este gran recorrido.*
- ❖ *A mi hermana de otra madre María Camila Soto Muñoz por ser mi roca en momentos de debilidad y decaimiento; por estar en las buenas y malas, muchas gracias.*
- ❖ *A todas las grandes amistades y personas que he conocido que con sus palabras y acciones han contribuido a mi crecimiento personal y espiritual.*

❖ *Y a todo el cuerpo de docentes que con sus enseñanzas, paciencia y cariño nos forjan a lo largo de los años, así mismo a todo el personal administrativo y demás que hacen que la carrera Ingeniería de Alimentos sea la que es: UNA GRAN FAMILIA.*

Julieth Tatiana Suárez Hernández.

AGRADECIMIENTOS

“Que la gratitud sea la almohada a la hora de recostarte y la fe el puente que pase por encima de la maldad y el que le dé entrada a lo bueno”. Maya Angelou.

Agradecemos infinitamente:

- ✓ A la Universidad de Córdoba y al departamento de Ingeniería de Alimentos por todo el conocimiento compartido y permitir prepararnos como ingenieras de Alimentos.
- ✓ A nuestro director de tesis Ph.D Fabián Ortega por su fundamental orientación durante todo el proceso de nuestro proyecto de grado.
- ✓ A nuestra co-director Ph.D Omar Andrés Pérez Sierra por todos los aportes y consejos brindados en la elaboración de este trabajo.
- ✓ A los Ingenieros Gabriel Vélez y Deivis Luján Rhenals por confiar en nosotras y apoyarnos incondicionalmente.
- ✓ A una importante amiga, Amarilys Acosta por todo el apoyo brindado para culminar este trabajo y sobre todo por ayudarnos a demostrar que sí se puede soñar y cumplir lo que se propone.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. GENERALIDADES DEL AJI (<i>Capsicum annum</i>).....	3
2.1.1. Contenido Nutricional.....	4
2.1.2. Producción de Ají.....	5
2.2. SECADO.....	6
2.2.1. Secado por ventana refractiva.....	7
2.3. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE SECADO.....	11
2.4. DETERMINACIÓN DE COLOR.....	13
2.4.1. Cambio de color ΔE	15
3. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.2. UNIVERSO DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN.....	17
3.3. VARIABLES E INDICADORES.....	17
3.3.1. Variables independientes.....	17
3.3.2. Variables dependientes.....	18
3.4. PREPARACIÓN DE MUESTRA.....	18
3.4.1. Clasificación, lavado y desinfección de los ajíes verdes y maduros.	18
3.4.2. Obtención y preparación de la muestra.	18
3.4.3. Secado por Ventana Refractiva.....	19
3.4.4. Determinación del contenido de humedad.....	19
3.4.5. Medición de color.....	19
3.4.7. Diseño Experimental.....	20

3.4.8. Análisis estadístico.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. EVALUACIÓN DEL SECADO DEL AJI.....	21
4.1.1. Cinética de secado.....	21
4.1.2. Determinación de los parámetros de secado por ventana refractiva.....	23
4.1.3. Color.....	27
4.1.3.1. Determinación de los parámetros de color.	27
4.1.4. Análisis estadístico.....	28
5 CONCLUSIONES.....	30
6 RECOMENDACIONES.....	31
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proporción de producción de Chiles, pimientos picantes, pimientos.	5
Figura 2. Esquema del equipo convencional del secador RW.	9
Figura 3. Modelo de color CIELAB	14
Figura 4. Grafica de color CIELAB, 1976	15
Figura 5. Curvas de secado de ajíes verdes	21
Figura 6. Curvas de secado de ajíes maduros.	22
Figura 7. Curva de energía de activación (E_a) para el ají Maduro.	26
Figura 8. Curva de energía de activación (E_a) para el ají Verde.	26

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tabla 1: composición nutricional	4
Tabla 3 Parámetros cinéticos de la segunda Ley de Fick	23
Tabla 4 Análisis de Varianza para las Difusividades efectivas de los tratamientos.	25
Tabla 5 Cambios de color del ají después de secado por VR.	27

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Evidencias del proceso de secado de Ají dulce (*Capsicum annum*) en dos estados de madurez.

ANEXO B Análisis de Varianza de Color en ambos estados de Madurez

RESUMEN

El cultivo del ají dulce (*Capsicum annuum*) ha tenido una amplia difusión en gran parte del país, siendo la zona noroccidental de Colombia nuestra ubicación de interés. Sin embargo, no se dispone del ají dulce en todas las épocas del año por lo que se tendrá que hacer uso de la deshidratación para conservarlo en las mejores condiciones posibles y utilizarlos en aquellas épocas en que no haya tanta abundancia.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de humedad y cambios de color durante el secado por ventana refractiva de ají dulce en dos estados de madurez utilizando aceite de palma como medio calefactor; se seleccionaron los ajíes dulces verde y maduros, se cortaron, lavaron y procesaron hasta obtener una pasta homogénea, finalmente se adecuó a una geometría cilíndrica con diámetro de 6,57 cm y espesor de 0,25 mm sometidos al secado en la ventana refractiva por intervalos de tiempo de 3 min, con el fin de calcular la pérdida de humedad hasta un peso constante; para esto se utilizó aceite como medio calefactor, se utilizaron temperaturas de 100, 110 y 120°C. El modelo difusional de Fick se ajustó bien a los datos experimentales con valores de R^2 entre 0,993 y 0,9986, arrojando valores de la difusividad efectiva de humedad para los ajíes verdes entre $4,59 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $6,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, para los ajíes maduros entre $4,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $7,7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Se encontró que la energía de activación fue de 32,8 kJ/mol para la muestra de ají maduro, mientras que para la muestra de ají verde fue de 40,2 kJ/mol. En la medición de color se hallaron los valores de L^* (claridad) entre 32,4-32,8 para la muestra verde y entre 30,0-32,6 para la muestra madura a las distintas temperaturas; a^* (rojo/verde) con valores entre 3,0-3,5 para la muestra verde y entre 18,1-21,8 para la muestra madura y b^*

(amarillo/azul) con valores entre 17,5-23,2 para la muestra verde y entre 18,4-24,2 para la muestra madura.

Como conclusión se tiene que en el secado por ventana refractiva con calentamiento con aceite se obtienen velocidades de secado altas, lo cual permitirá tener menores tiempos de secado.

Palabras claves: Ají, Ventana refractiva, Ley de Fick, Color.

ABSTRACT

The cultivation of the sweet pepper (*Capsicum annuum*) has had a wide diffusion in much of the country, with the northwestern part of Colombia being our location of interest. However, sweet chili is not available at all times of the year so dehydration will have to be available to preserve it in the best possible conditions and use it in those times when there is not so much abundance (González, 2008).

The objective of this research was to evaluate the moisture content and color changes during the refractive window drying of sweet pepper in two stages of maturity using palm oil as a heating medium; The green and ripe sweet peppers were selected, they were cut, washed, and processed until obtaining a homogeneous paste, finally, it was adapted to a cylindrical geometry with a diameter of 6.57 cm and a thickness of 0.25 mm subjected to drying in the refractive window by time intervals of 3 min, in order to calculate the moisture loss up to constant weight; For this, oil was used as a heating medium, temperatures of 100, 110 and 120 ° C were used. Fick's diffusional model adjusted well to the experimental data with R^2 values between 0.993 and 0.9986, yielding values of the effective moisture diffusivity for green peppers between $4,59 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $6,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, for mature peppers between $4,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ and $7,7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. The activation energy was found to be 32.8 kJ / mol for the ripe chili pepper sample, while for the green chili sample it was 40.2 kJ / mol. In the color measurement, the L^* (clarity) values were found between 32.4-32.8 for the green sample and between 30.0-32.6 for the mature sample at different temperatures; a^* (red/green) with values between 3.0-3.5 for the green sample and between 18.1-21.8 for the mature sample and b^* (yellow/blue) with values between 17.5-23, 2 for the green sample and between 18.4-24.2 for the mature sample.

In a conclusion, it is necessary to obtain high drying speeds in refractive window drying with oil heating, which will allow for shorter drying times.

Keywords: Chili pepper, Refractive window drying, Fick's Law, Color.

INTRODUCCIÓN

El ají dulce es una hortaliza que aporta un valor nutritivo alto, mediano y bajo dependiendo de la variedad, del mismo. Este radica en su elevado contenido de vitamina C, además de poseer valiosos contenidos de vitamina A, B, algunos minerales, entre otros (SIPSA, 2018). Esta variedad de ají fue descrita por Carlos Linneo en 1753 dejando así establecida la clasificación taxonómica publicada en su libro *Species Plantarum*.

El ají en Colombia es uno de los cultivos más rentables de acuerdo a su elevada competitividad y aprobación internacional; la obtención del producto se realiza tradicionalmente en regiones como el Valle del Cauca y la Costa Atlántica. No obstante, en la región amazónica este fruto hortícola es uno de los géneros más cultivados por sus etnias, (Vélez, 1991 citado por Arias y Melgarejo, 2000), dando como resultado la adaptación de variedades a diferentes ambientes y requerimientos agroclimáticos del ecosistema colombiano, lo cual establece una garantía rentable para el aprovechamiento de su producción y los beneficios de su uso.

En el mercado de Córdoba, el ají dulce es un cultivo tradicional y de gran demanda. Sin embargo, la producción es estacional, con mayor oferta de frutos durante la época de lluvias. La poca aplicación de tecnología apropiada, el bajo rendimiento en las producciones, los altos costos, la calidad mínima en los productos cosechados, el poco interés en las áreas de investigación y de extensión, la falta de infraestructura, de apoyo y planificación adecuada en el proceso productivo, han ocasionado una elevación en los

costos de producción de los alimentos. Para poder aprovechar esa oferta de alimentos se manejan técnicas que conservan las propiedades de la materia prima, es por ello que la técnica a implementar, denominada secado por ventana refractiva (V.R.), será el mecanismo de estudio que nos llevará a brindar un recurso de fácil reproducción para los agricultores y por ende, analizar la respuesta en la materia prima, y aumentar la vida útil de la misma.

El propósito de este trabajo fue estudiar el sistema de Ventana de Refractancia™ en el proceso de deshidratación de Ají dulce en sus dos estados de madurez utilizando aceite comestible como fluido calefactor, evaluando el efecto de la temperatura del aceite, sobre las propiedades fisicoquímicas (humedad, difusividad, y color).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DEL AJI DULCE.

El género *Capsicum*, comprendido con más de 30 especies entre comerciales y silvestres, presenta alta variabilidad genética que se manifiesta en una amplia gama de colores, formas, aromas, sabores y grados de pungencia (Eshbaugh 1983; Thampi 2003; Moscone et al., 2007) de las cuales cinco han sido domesticadas siendo *Capsicum annuum* L. la más cultivada a nivel mundial.

El ají dulce es un arbusto perenne o anual (cuando se cultiva en condiciones ecológicas diferentes a las de su lugar de origen), alcanza la altura de unos 40 cm hasta 2 m de altura, bifurcándose en 2 o 3 ramas principales, que se ramifican en forma dicotómica (CENTA 2018), posee hojas opuestas enteras, lanceoladas a aovadas, ápice agudo, pecíolos largos. Flores solitarias pendulares, blancas. Frutos tipo baya de color verde que cambian a amarillo, naranja o rojo brillante al madurar alargados, cónicos, en forma de cuernos, oblongos, redondos, varían en tamaño y su sabor puede ser picante o no (Fonnegra, 2007).

2.1.1 CONTENIDO NUTRICIONAL

Por cada 100 gramos de ají dulce se obtienen los siguientes nutrientes:

1: Composición nutricional.

NUTRIENTES	CANTIDAD
Energía (kcal)	32
Proteína (g)	1.20
Grasa Total (g)	0.50
Colesterol (mg)	-
Glúcidos (g)	6.70
Fibra (g)	1.70
Calcio (mg)	13
Hierro (mg)	0.50
Yodo (µg)	-
Vitamina A (mg)	156.67
Vitamina C (mg)	76
Vitamina D (µg)	-
Vitamina E (mg)	0
Vitamina B12 (µg)	-
Folato (µg)	0

Fuente: FUNIBER.(2005)

Los pimientos presentan una amplia variabilidad sensorial y nutricional, muchos de ellos con unas marcadas propiedades antioxidantes e importantes efectos biológicos (Howard et al., 2000). Entre los caracteres físico-químicos destacan la textura, tamaño, color, grosor de la pared, cantidad de semillas, acidez y ° Brix.

Respecto a los niveles de los compuestos nutricionales, en el fruto destacan los niveles de carotenoides, vitamina A, vitamina C y compuestos fenólicos beneficiosos para la salud (Bosland y Votava, 2000; Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006).

2.1.2 PRODUCCIÓN DE AJÍ.

La producción e industrialización de hierbas y especias, en este caso, de ají no han recibido la prioridad que merece puesto que estos productos se estiman como cultivos insignificantes y de menor importancia en la economía agrícola con respecto a los demás productos contrario a lo que sucede en Asia y África donde este mercado es uno de los fundamentales (Leiton, 2014), que se ha mantenido y aumentado al pasar de los años (Fig. 1).

A nivel mundial el cultivo y producción del ají se encuentra liderado principalmente por China con cerca de 17 millones de Toneladas de producción seguida de México y Turquía con una producción de 2,5 millones de Toneladas aproximadamente para un periodo de 5 años. (FAOSTAT, 2018).

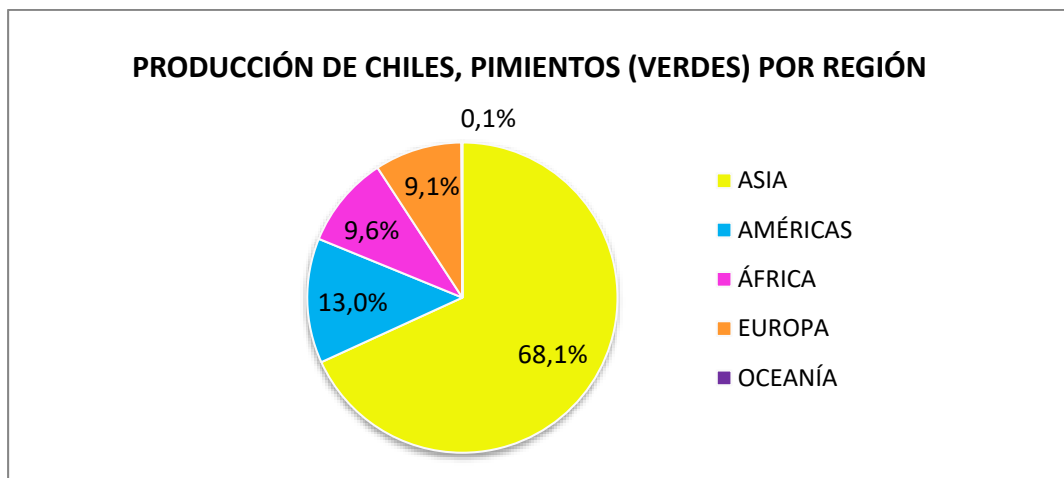


Fig.1. FAOSTAT, 2020. Proporción de producción de Chiles, pimientos picantes, pimientos (verdes) por región, periodo 2013-2018. Fig. FAOSTAT, 2020.

<http://www.fao.org/faostat/es/>

El ají es uno de los cultivos de mayor importancia en México que es uno de los países que más consume este producto, destinado así a los mercado nacional e incluso internacional debido a su alta competitividad, aceptación, importancia socioeconómica y propiedad nutricional.

México ocupa el segundo lugar a nivel mundial después de China y el tercero en superficie de cosecha, y el tercero a nivel de cultivo de cosecha. Este cultivo ocupa el segundo lugar a nivel nacional dentro de las hortalizas después del tomate (Bradley, 2020). Es usado en gran variedad de salsas, condimentos, polvos, encurtidos y como fruta fresca en los supermercados, presentando una alta demanda por sus diversas características (Rodríguez, 2009).

2.2. SECADO

El secado de alimentos consiste en evaporar el agua libre de los alimentos por medio de la adición de calor. En este procedimiento intervienen dos factores los cuales son la transferencia de calor que suministra el calor latente de evaporación necesario para evaporar 1 kg de agua líquida y la transferencia de masa en donde se tiene en cuenta el agua que se extrae del alimento y se evapora en el ambiente (Martínez Cadena, 2008). El secado es una operación presente en casi todos los sectores industriales, se aplica desde la agricultura hasta en productos farmacéuticos. La tecnología de secado consiste en el acoplamiento de los fenómenos de transporte y ciencia de los materiales y se ocupa no solo de la eliminación del líquido para producir un producto sólido, sino también del desarrollo de criterios de calidad necesarios para el producto en seco (Kudra et. al., 2009).

El secado es uno de los métodos más antiguos para preservar alimentos a través de la reducción del contenido de humedad y la disminución de la actividad de agua hasta niveles seguros, prolongando la vida útil y aumentando su valor agregado. Comparados con productos conservados por otros métodos, los alimentos deshidratados tienen una vida útil casi ilimitada y sustancialmente bajos costos de transporte, manejo y almacenamiento. Secar materiales sensibles al calor como frutas, vegetales y otros ingredientes, usados generalmente como base de preparaciones de alimentos, se convierte en un desafío. Aprovechando esta oportunidad y la gran demanda de los consumidores por alimentos deshidratados de alta calidad, continuamente se hacen esfuerzos por desarrollar métodos de secado innovadores y mejorados (Nindo et al., 2003a).

2.2.1. Secado por ventana refractiva

El secado por ventana de refractancia (Refractance WindowTM, RW) es una técnica que se ha utilizado principalmente para deshidratar frutas y verduras en forma de purés, jugos y rodajas. (Ortiz, 2014). El secado (RW) es un secado de película caracterizado principalmente por un tiempo de procesamiento corto, bajo costo de energía y calidad de producto mejorada (Abonyi et al., 2000; Nindo, Tang, Cakir y Powers, 2006).

El sistema de secado por Ventana de RefractanciaTM es una alternativa para convertir alimentos de alta actividad de agua tales como frutas y verduras, en productos más estables a las reacciones de deterioro.

Este método de secado se caracteriza por temperaturas del producto relativamente bajas y tiempos de secado cortos (Nindo et al., 2003a). Las pérdidas de calor o energía desde el agua hacia los alrededores ocurren por conducción o evaporación con procesos internos de convección y radiación. Si una lámina se pone sobre la superficie de agua entonces la pérdida de energía solo puede tomar lugar por principios de conducción. Sin embargo, si se coloca un material húmedo en la superficie de esta lámina puede ocurrir transferencia radiante. Esto permite que el calor irradiado pase desde el agua hacia el interior del material húmedo. En la medida en que el material pierde humedad, dicha “ventana” se va cerrando y la transferencia de calor por radiación disminuye hasta desaparecer. Así el proceso es auto regulado fijando el sabor y manteniendo altos estándares de calidad en los productos (Clarke, 2004 citado por Ortiz, 2014).

Este método de secado se caracteriza por exponer el producto a temperaturas medias y tiempos cortos de secado. La operación del secado RW (Fig. 2) se realiza a presión atmosférica y se utiliza agua a 90-97°C para transferir el calor hacia el producto a secarse. El producto húmedo es dispuesto sobre la superficie de una película plástica transparente al infrarrojo que flota sobre la superficie del agua caliente. El agua se recircula continuamente a temperatura menor del punto de ebullición y se recalienta para mantener la temperatura (Bolland, 2000).

La rápida deshidratación del alimento se lleva a cabo por la radiación térmica que llega al producto provocando la evaporación del agua que contiene el alimento (Morales y Vélez, 2014). Adicional a lo anterior, un fluido como el aceite sí es usado como medio calefactor puede aumentar la rápida circulación dentro de la bandeja, y esté a su vez procede al incremento del coeficiente de transferencia de calor que interfiere en el plástico de Mylar, en cuanto al flujo de aire que tiene contacto con la materia prima que elimina el agua evaporada.

Su alto punto de ebullición y rápida transferencia de calor que circula en la bandeja hace que los tiempos de secado sean más cortos y que se mantengan de cierta manera aún más las propiedades organolépticas de la materia prima a secar siendo este de gran aprovechamiento en nuestro proyecto ya que en un gran porcentaje el uso de esta tecnología se usa con agua como medio calefactor y esto haría de nuestro proyecto un proyecto innovador.

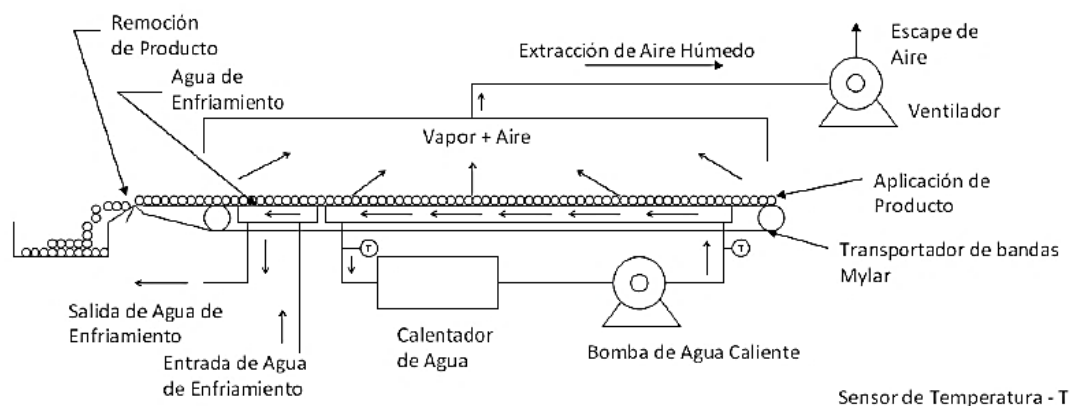


Fig. 2. Nindo et al. (2003a). Esquema del equipo convencional del secador RW.

Tomado de Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., & Powers, J. R. (2003b).

En el procesamiento de frutas y vegetales, un método es particularmente eficiente si la retención de componentes naturales y aspectos de calidad es significativa en los productos secos para estar disponibles en futuras aplicaciones.

Muchas de las técnicas tradicionales para deshidratar estos alimentos, particularmente aquellas que usan calor, producen productos con deficiencias en muchos de los aspectos deseados de calidad. Sin embargo, las eficiencias energéticas del secado RW (27.9%-47.6%) son comparables o algo menores que aquellas reportadas para métodos de secado con aire caliente (30-40%); la retención de vitamina C es comparable o mayor que en productos liofilizados hasta un contenido de humedad similar; la retención de carotenos es comparable con productos liofilizados y mejores que con secado en tambor; la degradación del color es comparable o ligeramente menor que en los productos liofilizados (Bolland, 2000).

Particularmente, el secado por congelación siempre produce materiales secos de alta calidad, pero esta tecnología sufre por sus altos costos de operación y producción relativamente baja (Clarke, 2004).

El propósito de este trabajo es estudiar el sistema de Ventana de Refractancia™ en el proceso de deshidratación de Ají dulce en sus dos estados de madurez, evaluando el efecto de la temperatura del agua y del espesor de la muestra, sobre las propiedades fisicoquímicas (humedad, difusividad, y color).

2.3. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE SECADO.

La segunda Ley de Fick y su solución propuesta por Crank (1975), ha sido ampliamente utilizado para dar una representación fenomenológica del proceso de deshidratación utilizado para varios tipos de tejidos y para diferentes métodos de secado.

A partir de la ecuación de la segunda ley de Fick aplicada al mecanismo de transferencia de masa, se plantean las siguientes condiciones (1) flujo de masa es unidimensional perpendicular a la superficie de contacto película (polipropileno) del secador VR dirección z, (2) la muestra es una lámina cilíndrica finita, (3) y el encogimiento de la muestra se desprecia en esta matriz. La cual da origen la siguiente (ecuación 1);

$$\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = \frac{\partial C}{D_{eff} * \partial t} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta las siguientes condiciones iniciales (ecuación 2) y de frontera son ecuación (3) y (4)

$$t = 0 \quad ; \quad C = C_i \quad (2)$$

$$z = 0 \quad ; \quad \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$z = L \quad ; \quad D_{eff} \frac{\partial C}{\partial z} = k_c [C_L - C_\infty] \quad (4)$$

Donde,

C_i es la concentración de agua (g agua/g de sólidos) inicial en el sólido, C_∞ es la concentración de agua (g agua/g de sólidos) en el equilibrio que, para el secado, C_L es la concentración de agua (g agua/g de sólidos) en la superficie en un cierto tiempo, D_{eff} el coeficiente de difusión efectivo de masa (m^2/s) y z es la posición dentro de la rodaja, k_c es el coeficiente convectivo de transferencia de masa.

Se obtiene la ecuación de difusión (5) que describe la concentración en el tiempo y la posición en una placa finita, resolviendo la ecuación diferencial (1) (Ortega, 2013).

$$\frac{C_{(z,t)} - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \operatorname{sen} \mu_n}{\mu_n + \operatorname{sen} \mu_n} \cos \cos \left(\mu_n \frac{z}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{D_{eff} * t}{L^2}} \quad (5)$$

Para obtener la (ecuación 6) para la concentración media de humedad en una placa finita, se tiene en cuenta que Fourier $\left[\frac{D_{eff} * t}{L^2} \right]$ es mayor 0,2; integrando $\frac{1}{V} \int_0^V C(z, t) dV$ y con el número de Biot de transferencia de masa se obtiene el coeficiente efectivo de transferencia de masa (ecuación 7).

$$\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_l - C_{\infty}} = \frac{2 \operatorname{sen} \mu_{n1}}{\mu_{n1} [\mu_{n1} + \operatorname{sen} \mu_{n1} \cos \mu_{n1}]} e^{-\mu_{n1}^2 \frac{D_{eff} * t}{L^2}} \quad (6)$$

$$Bi_m = \mu_1 \tan \mu_1 = \frac{k_c L}{D_{eff}} \quad (7)$$

2.4. DETERMINACION DE COLOR

Al momento de apreciar la calidad de un producto, tenemos en cuenta muchos parámetros; entre los cuales resalta el color como uno de los más importantes debido a que esté al ser el primer contacto del consumidor genera en su mayoría la aceptación o rechazo del mismo, esto concuerda con que “el color de los alimentos es, generalmente, un indicador de madurez o descomposición” (Cesari, 2018) y con que está directamente relacionado con la inocuidad, seguridad, durabilidad y agrado al mismo todo esto conllevado a las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del alimento (Martínez, et al., (2015). Por tal razón, se han establecido métodos para la determinación de color para cualquier alimento, tales como el sensorial e instrumental; estos fundamentales en cualquier experimento.

En el procedimiento sensorial, la medición estricta consiste en hacer uso de un panel de evaluadores entrenados, siguiendo la Norma IRAM 20022: 2004, y utilizando referencias, que pueden ser el Atlas RHS, las Guías Pantone, el Sistema Munsell u otros; el sistema visual humano tiene una gran habilidad para discriminar entre colores pero una pobre memoria visual, por lo que la valoración del color ayudada por patrones como los mencionados, mejora las valoraciones visuales.

También se encuadran entre las evaluaciones sensoriales, la aplicación de un sistema visual que compara el producto en estudio con un prisma coloreado estándar. El método instrumental consiste en el uso de técnicas en las cuales se mide la reflectancia o transmitancia de la muestra. Se utilizan instrumentos conocidos como espectrofotómetros o colorímetros triestímulos.

Dentro el método instrumental a utilizar en la investigación está el modelo CIELAB, que expresa el color mediante unos parámetros los cuales son L^* que define la claridad, a^* que denota la escala de colores entre los valores de rojo a verde y b^* la escala de valores entre amarillo y azul.

En un sistema ortogonal que se representa mediante un sistema tridimensional como se muestra en la Fig. 3; en donde la L en su eje vertical (L^*), indica claridad u oscuridad en sus planos plano horizontal conformado por los ejes a^* y b^* . Donde el eje a^* refleja la variación del rojo al verde, siendo positivo para el primero ($+a^*$) y negativo para el segundo ($-a^*$); el b^* la variación del amarillo al azul, siendo positivo para el primero ($+b^*$) y negativo para el otro ($-b^*$) (Francis y Clydesdale 1975).

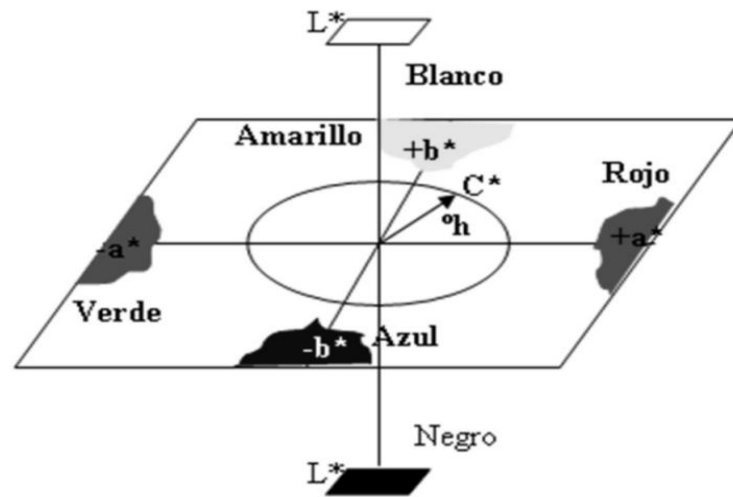


Figura 3: X-Rite (2002). Modelo de color CIELAB. Tomado de X- Rite, (2002).

En un sistema ortogonal se lo representa mediante:

Claridad, un eje vertical (L^*), que indica claridad u oscuridad un plano horizontal conformado por los ejes a^* y b^* .

El eje a^* refleja la variación rojo-verde, siendo positivo para el primero ($+a^*$) y negativo para el segundo ($-a^*$);

El b^* la variación amarillo-azul, siendo positivo para el primero ($+b^*$) y negativo para el otro ($-b^*$).

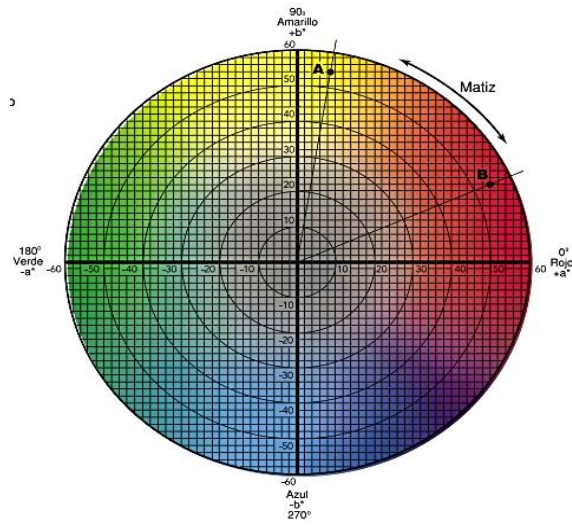


Fig. 4: Cielab, (1976). Grafica de color. Tomado de CIELAB, 1976

2.4.1. Cambio de color ΔE .

El análisis de color es más que una expresión numérica. Normalmente es un análisis de la igualdad o diferencia de un color al compararlo con una norma establecida. CIELAB y CIELCH se emplean para comparar los colores de dos objetos.

Dados ΔL^* , Δa^* y Δb^* la diferencia total o distancia en el diagrama CIELAB puede ser expresado como un valor único conocido como ΔE^*

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ec 1.}$$

En cuanto al análisis de color, (Franco et al., 2019) en su trabajo de deshidratación de muestras cárnicas y de rodajas de manzanas en términos de color nos sustenta que evidenció un mejor resultado en los cambios de color al comparar los dos métodos de

secado convencional, logrando observar que el método de ventana refractiva conserva mejor el color del producto.

González, A., Espinosa, A., & Méndez, J. (2008). En su investigación de deshidratación de ají dulce se obtuvieron en la medición de color, para la coordenada de color a y b del ají en fresco de 21,568 y 28,522 ubicados dentro de la gama de colores, y para L: de 53,168; mientras que para el polvo se evidencio que para a y b; 24,506 y 36,844 mientras que para L:49,924 evidenciando valores con poco brillo, por efecto de la deshidratación.

Morrillo, A. (2015). En su investigación afirma que la medición de color asegura la calidad del producto, el contenido de pigmentos se ha analizado para determinar los cambios que sufre el color en los procesos que sufre dicho producto, en procesos de secado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La Investigación es de tipo experimental.

3.2. UNIVERSO DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN

El ají se obtuvo del mercado público del municipio de Sahagún (Córdoba, Colombia). Esta investigación se ejecutó en las instalaciones de los laboratorios de Ingeniería Aplicada II de la planta piloto, laboratorio de Biotecnología del programa de Ingeniería de Alimentos y laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba con sede en el corregimiento de Berástegui (Ciénaga de Oro, Córdoba) ubicado en el kilómetro 7 vía Cerete-Ciénaga de Oro.

3.3. VARIABLES E INDICADORES

3.3.1. Variables independientes

- Temperatura del aceite.
- Estado de madurez.

3.3.2. Variables dependientes

- Humedad del alimento.
- Difusividad efectiva de transferencia de agua.
- Color. (L^* , a^* , b^* , ΔE)

3.4. PREPARACIÓN DE MUESTRA

3.4.1. Clasificación, lavado y desinfección de los ajíes verdes y maduros.

Se hizo la selección de los ajíes verdes y maduros que cumplieran con características homogéneas en cuanto al grado de madurez y color. Los ajíes se lavaron y cortaron por la mitad, se retiraron sus semillas, se sometieron a otro lavado con abundante agua potable y posteriormente, el agua restante en la superficie se retiró.

3.4.2. Obtención y preparación de la muestra.

Para la obtención de la muestra, el ají se redujo de tamaño en una licuadora industrial donde se obtuvo una pasta que se colocó sobre recipientes circulares de 7 cm de diámetro y 2 mm de espesor.

3.4.3. Secado por Ventana Refractiva

Las muestras fueron colocadas en un sistema de calentamiento freidora industrial marca **Oster** empleando aceite de palma a temperaturas de 100°C, 110°C y 120°C con recubrimiento de una película de Mylard. Las muestras se pesaron cada 3 min.

3.4.4. Determinación del contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad total en base seca se determinó en una balanza de luz halógena modelo, LSC-50, la cual consiste en depositar de 3 a 5 g, que cubre todo el plato y este registra el peso inicial de la muestra; luego el radiador halógeno calienta y seca la muestra mientras la balanza integrada registra de forma continua el peso de la muestra., hasta que la muestra deja de perder peso, el instrumento se apaga y calcula la proporción de humedad.

3.4.5. Medición de color

Para la medición de color de las muestras se usó un equipo medidor de color marca Color Flex EZ Standards Box con una geometría de medición 45 ° / 0 ° la cual consiste en colocar la muestra en el lente y este utilizar una lámpara de xenón para iluminar la muestra puestas en el lente el cual calcula, los parámetros de color L*, a*, b*.

Se calculó la diferencia de claridad (L) con la Ecuación (7), A partir de estas coordenadas se estimaron las diferencias de color mediante las ecuaciones (8 y 9),

respectivamente.

$$\Delta L * Li - Lf \quad (7)$$

$$C * ab = \sqrt{a *^2 + b *^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2} \quad (8)$$

3.4.6. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x3 donde los factores son estados de madurez (verde, maduro) y la temperatura del medio calefactor (100°C, 110°C y 120°C).

3.4.7. Análisis estadístico

A los errores experimentales se validaron los supuestos de aleatoriedad, normalidad homogeneidad e independencia se procedió con la realización de un análisis de varianza (ANOVA) sobre las variables dependientes estudiadas con la finalidad de definir si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados. Una vez comprobado dichas diferencias se aplicó el test de Tukey y ajuste de regresiones no lineales (método de Marquardt) con significancia del 5%. Los valores de cada uno de los parámetros de color (L*, a* y b*) obtenidos, fueron evaluados a través de análisis de varianza, donde se valoraron los efectos de la temperatura, tiempo, velocidad de secado y estado de maduración, sobre la variación del color durante el proceso de secado. Estos análisis se realizaron en el programa STATGRAPHICS CENTURION XV y MATLAB 2014^a.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL SECADO DEL AJÍ.

4.1.1. Cinética de secado.

Las Figuras 3 y 4 muestran las pérdidas de humedad de los ajíes en los dos estados de madurez (verde y maduro) utilizando aceite como fluido calefactor.

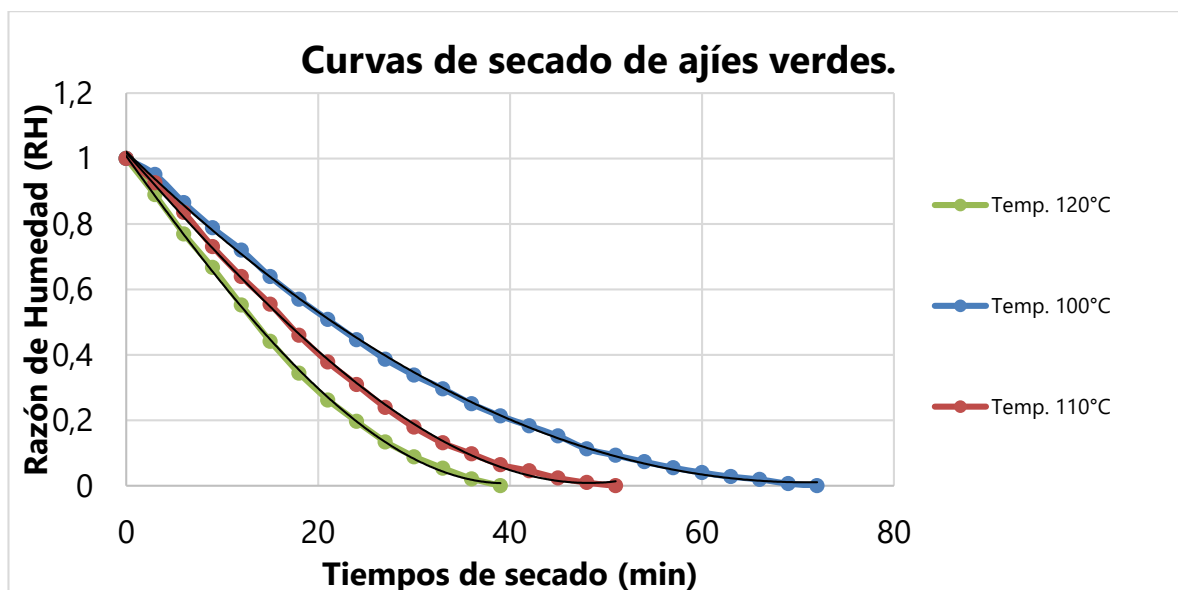


Figura 5. Curvas de secado de ajíes verdes.

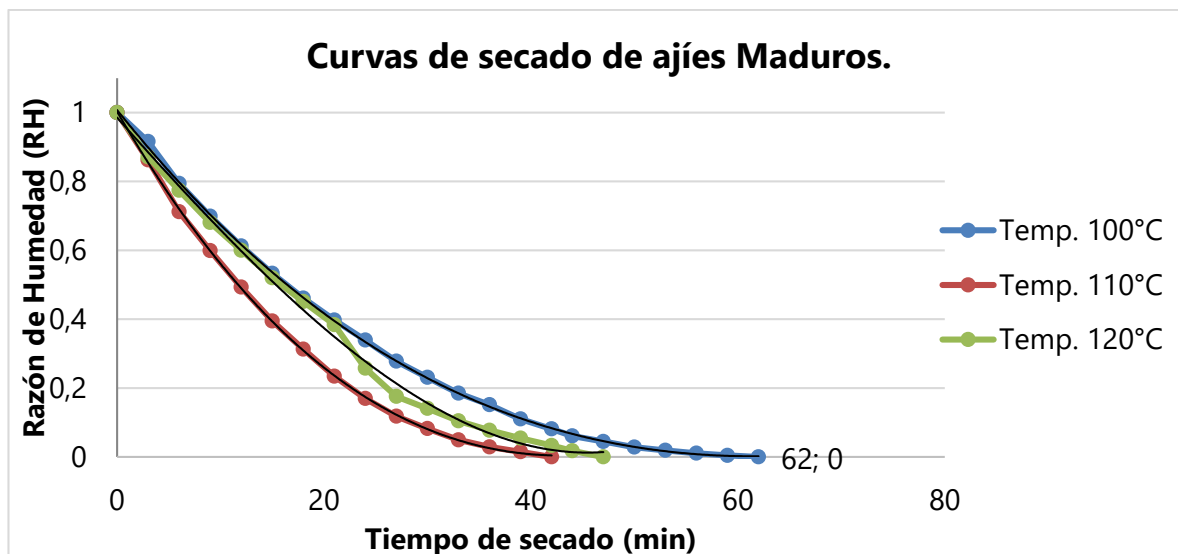


Figura 6. Curvas de secado de ajíes Maduros.

Se observa que, al aumentar la temperatura del proceso, disminuye significativamente en el tiempo de secado. Un estudio realizado reportó que al utilizar temperaturas altas en pimientos rojo durante el secado al aire caliente el tiempo de secado de la muestra disminuyó (Yang et. al., 2018). Igualmente, mostraron resultados donde se logró un menor tiempo de secado aplicando temperaturas más altas, para rodajas de pimentón verde con un secador de lecho. (Moradi et. al., 2019).

Al aplicar la temperatura de 120° C, se evidencia la reducción de los tiempos de secado en ambas muestras siendo la más rápida la muestra verde, sin embargo, con la muestra madura secada a 120°C se mostró que secó más lento ($t = 47$ min.) que la muestra de 110°C ($t = 42$ min.), lo cual pudo ser afectado por variaciones externas del proceso.

4.1.2. Determinación de los parámetros de secado por ventana refractiva.

En la tabla 1 se muestran los datos obtenidos de difusividad efectiva y energía de activación para el ají dulce en sus dos estados de madurez. Se puede observar que la difusividad efectiva media tuvo valores entre $4,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $7,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para las muestras en estado maduro; $4,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $6,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para la muestra en estado verde para el rango de temperatura de 100 a 120°C.

Tabla 3. Parámetros cinéticos de la segunda Ley de Fick

ESTADO DE MADUREZ	Tto.	T (°C)	$D_{ef} (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-10}$	R^2	Ea (kJ/mol)	R^2
MADUROS	T1	100	4,79	0,980	33,9	0,965
	T2	110	6,64	0,981		
	T3	120	7,77	0,941		
VERDES	T1	100	4,59	0,996	40,2	0,997
	T2	110	6,16	0,984		
	T3	120	6,92	0,987		

Fuente: Elaboración propia.

El valor de la energía de activación (Ea) en las muestras de ají tuvo valores de 33,9 kJ/mol y 40,2 kJ/mol para las muestras de ajíes maduros y verdes, respectivamente; de igual forma se observaron resultados del coeficiente de correlación con valores encima de 0,96 lo cual indica que el modelo se ajustó a los datos obtenidos experimentalmente.

Madamba et al., (1996) y Ade-Omowaye, (2003) reportaron valores de difusividad efectiva de pimientos maduros durante las primeras 3 h de secado al aire de $0,87 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1,58 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ los valores de Difusividad aumentaron con el aumento de la temperatura.

Lim Law et. al. (2006) indicaron que las difusividades de pimienta negra aumentan con el aumento de las temperaturas de secado, esto debido a que a altas temperaturas el aire de secado proporciona un alto flujo de energía externo que conducen a mayores datos de difusividades.

Karthanos et al. (1990), Sharma et al. (2005), Erenturk (2007) y Djebliet et al. (2020) mostraron que, durante el proceso de secado, los valores del coeficiente de difusividad de masa de tomate aumentan con la disminución en el contenido de agua. Esto se debe a que el agua que está sobre la superficie se renueva continuamente por difusión rápida, desde el interior hasta el medio externo, este proceso es mucho más efectivo a temperatura de secado altas.

De la tabla 4, del análisis de varianza para las difusividades efectivas de los tratamientos, se tiene para un nivel de significancia del 5% no existe diferencia significativa para la interacción entre los factores temperatura- estado de madures, estadísticamente no interactúan, por lo cual se requiere analizar cada factor de forma independiente. Además hay diferencias significativas en los efectos causados por la temperatura amentando así las difusividades.

Tabla 4. Análisis de Varianza para las Difusividades efectivas de los tratamientos (Deff)-

Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Razón-F*</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Fuente</i>	<i>Razón-F*</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES			INTERACCIONES		
A: Temperatura	72,38	0	AB	0,66	0,5268
B: Estado de Madurez	0,37	0,55			
RESIDUOS					

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Mittal, (1999) recopiló datos de difusividad de masa en productos agrícolas. Calculado los valores de la energía de activación para unas rodajas de tomate planas obteniendo valores entre 2.23×10^4 kJ/mol y 1.21×10^5 kJ/mol y 3.83×10^4 kJ/mol y 8×10^4 kJ/mol. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Zogzas et al. (1996) para un buen número de productos alimenticios con los valores de la energía de activación que van desde 12,7 a 110 kJ / mol excepto el valor obtenido para el espesor 0.005 m más alto que 1.21×10^5 kJ/mol. Teniendo en cuenta que el valor de la energía de activación aumenta de acuerdo a la forma y espesor del producto alimenticio, otro factor es la humedad del aire.

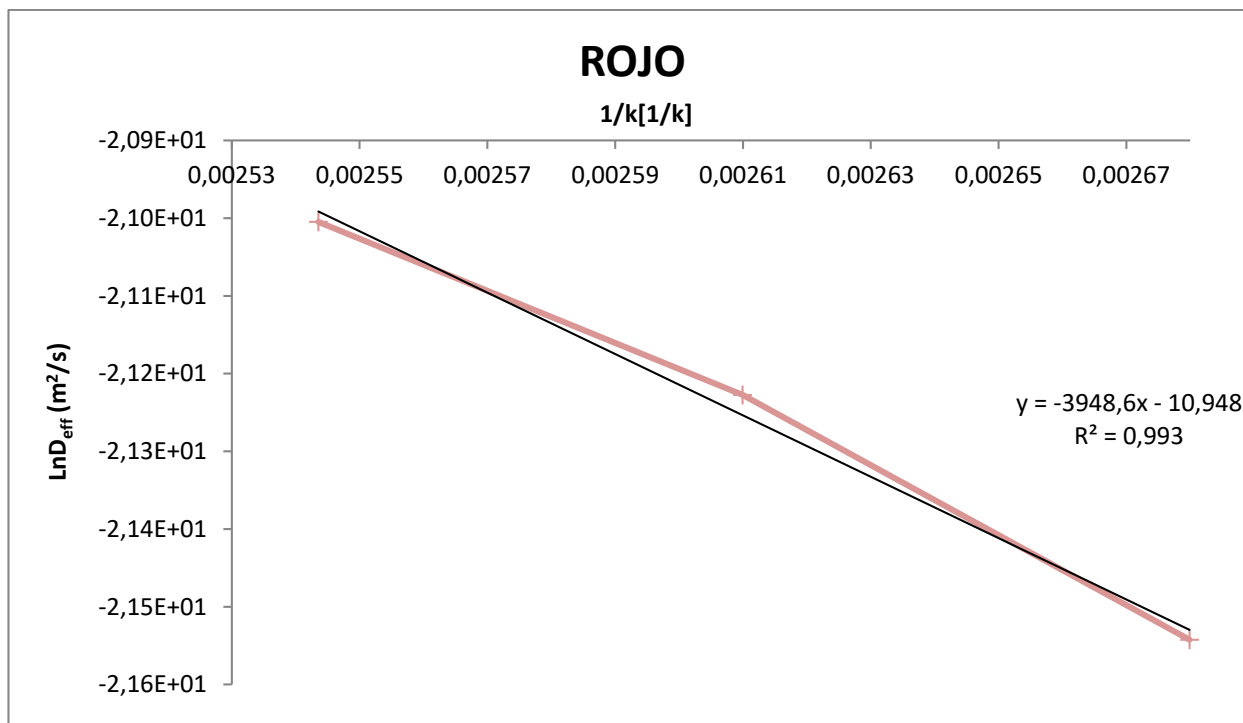


Figura 7. Curva de energía de activación (E_a) para el Ají Maduro.

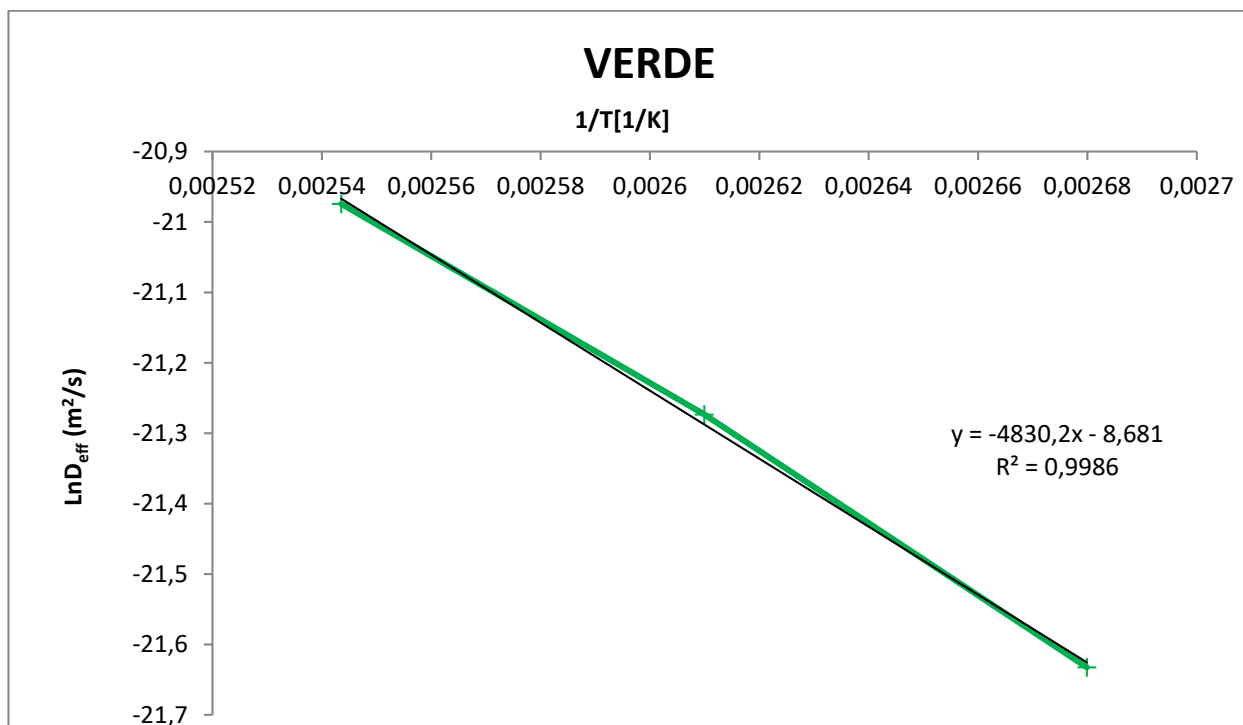


Figura 8. Curva de energía de activación (E_a) para el Ají Verde.

4.1.3. Color

4.1.3.1. Determinación de los parámetros de color.

La temperatura ejerce un efecto importante sobre los cambios de color, en especial a las muestras de ají maduro donde se evidencio valores mayores respecto a los de ají verde. Se observa que los valores de claridad disminuyen con el tiempo de secado según los valores de a^* las muestras verdes pasan del verde al rojo mientras que las muestras maduras disminuyen el rojo. Según los valores de b^* las muestras verdes disminuyen el amarillo al igual que las muestras maduras.

En efecto para las muestras maduras esto ocurre debido a que en este estado la concentración de carotenoides es alta, interfiriendo así la reacción de maillar durante el proceso de secado provocando así un amentos para el parámetro L^* .

Park y Lee (1975) mostraron que los métodos de secado y las temperaturas ejercen un efecto sobre los cambios de color de la rodaja de pimiento, sometiénolos a temperaturas de 50 y 70 °C disminuye los valores de L^* atribuyéndose pigmentos marrón al pigmento rojo.

Maskan, (2009) mostraron que, durante el proceso de secado, para dátiles la descomposición de los pigmentos de color y reacciones no enzimáticas pueden ocurrir y producir oscuridad atribuyéndose este efecto a la rica concentración de pigmento carotenoide en la etapa de madurez de las muestras.

Tang y col., (2013) sustentan que los dátiles son ricos en azúcares reductores que pueden provocar la reacción de Maillard durante el proceso de secado y producir productos de color marrón rojizo.

Casp y Abril (1999) citado por González. et. al., (2008) señalan que las alteraciones de los carotenoides son mayores cuánta más alta es la temperatura, lo que confirma el cambio que se obtuvo entre las muestras iniciales frescas y las secas.

Vega y Fito (2002) citado por González. et. al., (2008), determinaron color en pimentones deshidratados y reportan que cuando las temperaturas de secado exceden los 65° C la pérdida de color sobrepasa el 70 %, es decir, los carotenoides, pigmentos encargados de la coloración de los pimentones, se degrada y se obtiene un producto de coloración oscura.

Existieron variaciones en los valores de las medias debido al efecto directamente proporcional de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico sobre la degradación del color en la pulpa de ají escabeche. Esto se puede atribuir a la isomerización cis/trans que sufren los carotenos durante el calentamiento, lo cual reduce su contenido debido a la destrucción térmica (Guerra y otros, 2001).

Tabla 5. Cambios de color del ají después de secado por VR.

AJÍ VERDE				
TEMPERATURA DE SECADO	L*	a*	b*	ΔE
PATRÓN	34,8±1,1	-9	28,7±0,8	-
100	32,4±1,2	3,1±0,5	23,2±1,3	13,5±1,25
110	32,5±1,2	3±0,8	17,5±0,7	16,6±1,0
120	32,8±1,3	3,5±0,7	18,8±0,7	16±0,8

AJÍ MADURO				
TEMPERATURA DE SECADO	L*	a*	b*	ΔE
PATRÓN	40,3±0,9	34,2±0,4	39,3±0,4	-
100	32,6±1,2	21,8±0,8	24,2±1,4	21,1±0,7
110	30±0,6	18,5±1,6	19,1±1,9	27,6±0,97
120	30,1±1	18,1±0,7	18,4±0,9	28,3±0,82

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Análisis estadístico.

El análisis de varianza ($p \leq 0,05$) del anexo B, muestra que la temperatura de secado, el tiempo de secado y la interacción estado de madurez-temperatura no desempeñan un efecto significativo sobre el cambio de color de las muestras en sus dos estados de madurez.

En cuanto a los parámetros de color durante el secado se obtuvo que los datos obtenidos de difusividad efectiva media están en valores entre $4,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $7,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para las muestras en estado maduro; $4,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $6,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para la muestra en estado verde para el rango de temperatura de 100 a 120°C, con relación a la energía de activación para el ají dulce en sus dos estados de madurez.

Zhou, Y., Vidyarthi, S., Shan Zhong, C., Zheng, Z. y Xiao, H., (2020) Evaluaron Los parámetros de color (L *, a *, b *) de bayas de goji secas se resumen, el color de las bayas de goji se deterioró después del secado, en comparación con las muestras frescas. El deterioro del color de las muestras fueron superiores a los de las muestras secas sin pretratamiento, pero inferiores a los de las muestras secas pretratadas.

5. CONCLUSIONES

- El modelo de la ley de Fick de la difusión de la transferencia de masa tuvo un buen ajuste a los datos experimentales de secado por ventana refractiva de ají dulce en sus dos estados de madurez.
- Se determinaron los parámetros de secado por ventana refractiva, evidenciando que los valores de difusividad efectiva ($Deff$) aumentan al incrementar la temperatura de secado.
- Se observó que los cambios de color aumentan con la temperatura de secado y son pronunciados en las muestras de ají maduro debido a los azúcares presentes en estas.
- La temperatura de secado afectó significativamente en los parámetros de L^* , a^* y b^* evidenciadas en los de ajíes.

6. RECOMENDACIONES

- Dentro de la investigación se recomienda el desarrollo de esta técnica con aceites descartables utilizados en el freído de alimentos tal como lo son la industria de snacks entre otras. Siendo esta una implementación de aceite reutilizable otra investigación a futuro en esta línea investigativa.

7. REFERENCIAS

Ade-Omowaye, BIO, Rastogi, NK, Angersbach, A., Knorr, D.,2003. Efectos combinados del pretratamiento de campo eléctrico pulsado

Bolland, K. M. (2000). A new low temperature/short time drying process. *Cereal Foods World*, 45, 293-296.

Bosland, P.W. 1996. *Capsicums: Innovative Uses of an Ancient Crop*. (J. Janick, Ed.), Recuperado el 20 de Mayo de 2020, Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-479.htm>

Bradley, B. 2020. Los Principales Países Productores De Ají En El Mundo. Disponible en: <https://es.ripleybelieves.com/world-s-top-chili-pepper-producing-countries-6675>

Césari, M., Stefanoni, M., Ventrera, N., Gámbaro, A. (2016). Nuevo método de medida del color para alimentos vegetales.

CENTA, 2018. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. 2003. Guía técnica del cultivo de chile dulce. San Andrés, La Libertad, El Salvador. 49 p.

Clarke, P. (2004). Refractance Window TM – “Down Under”. Proceedings of the 14th International Drying Symposium., vol. B, págs. 813-820. 22-25 August, Sao Paulo, Brazil.

Constant, H. L. Cordell, G. A. West, D. P. 1996. Nonivamide, a constituent of *Capsicum oleoresin*. *Journal of Natural Products*, 59(4): 425–426

DANE, 2020. Departamento Administrativo Nacional de Estadística 2020 Recuperado 19 de mayo de 2020, de Dane.gov.co. Available at: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema#estadisticas-por-tema>>

Djebli, A., Hanini, S., Badaoui, O., Haddad, B., Benhamou, A., 2020; al., in press. Modeling and comparative analysis of solar drying behavior of potatoes. *Renew. Energy* 145, 1494–1506 (in press).

Eshbaugh, W. H. 1983. The genus *Capsicum* (Solanaceae) in Africa. *Bothalia*, Vol. 14: 845-848

Erenturk, S., Erenturk, K., 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *J. Food Eng.* 78, 905–912.

FRANCIS, F.J. and F. M CLYDESDALE: Food colorimetry: Theory and applications, Westport, Conn, The AVI Pub. Co. USA, 1975.

FUNIBER, (2005). Ají Dulce, Ecuador. Base de Datos Internacional de Composición de Alimentos. Fundación Universitaria Iberoamericana. Disponible en: <http://www.composicionnutricional.com/alimentos/AJI-DULCE-5>

González. Aimed, Estaba Espinoza Aurora, Chacín Cañizares Enrique y Natera Méndez Rafael. (2008). Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado., Científica UDO Agrícola, 8.1-2

Govindarajan VS, Rajalakshmi D, Chand N.1987.Capsicum production, technology, chemistry, and quality. Part IV. Evaluation of quality. Crit. Rev. Food Sci Nutr. 25(3):185-282.

Giuffrida, D. Dugo, P. Torre, G. Bignardi, C. Cavazza, A. Corradini, C., et al. 2013. Characterization of 12 Capsicum varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. Food Chemistry, 140(4): 794–802.

Heiser, C.B. 1976. Peppers Capsicum (Solanaceae). In: N.W. Simmonds (ed.), The evolution of crops plants. Longman Press, London. 265-268.

Huang, X. F. Xue, J. Y. Jiang, A. Q. Zhu, H. L. 2013. Capsaicin and its analogues: structure-activity relationship study. Current Medicinal Chemistry, 20(21): 2661–2672

Jäger, M. Jiménez, A. Amaya, K. 2013. Guía de oportunidades de mercado para los ajíes nativos de Perú. Bioversity international.90 p.

Karthanos, V.T., Villalobos, G., Savacos, G.D., 1990. Comparison of methods of estimation of effective moisture diffusivity from drying data. J. Food Sci. 55 (1), 218–231.

Leiton Ramírez. Y. (2014). Evaluación del método de secado por ventana de refractancia™ en pulpa de guayaba (*Psidium guajava*). Journal of Internacional Studies, pp 06, 49.

Lema Salazar, N. S. (2018). El ají, variedades, técnicas y usos aplicados a la cocina moderna ecuatoriana (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8617/1/UDLA-EC-TTAB-2018-05.pdf>

Linneo, C. Clasificación taxonómica. Ají dulce. *Capsicum annum*. *Species Plantarum*, vol. 1, p. 188-189. (Biblioteca Peter Raven, 2013).

Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. J. Food Eng. 44, 71–78.

Madamba, PS, Driscoll, RH, Hebilla, KA, 1996. Secado de capa fina Características de las rodajas de ajo. J. Food Eng. 29, 75-97.

Martínez Cadena, J. (2008). Análisis experimental del secado de semillas de pimienta grande ($d_p=7.55\text{mm}$) en un lecho fluidizado al vacío empleando aire, 234.

Martínez, J., y Santos, L., (2015). EFECTO DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO SOBRE EL COLOR SUPERFICIAL DEL PIMENTÓN ROJO (*Capsicum annuum*) VARIEDAD “NATALY, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,(13). 104

Mejía Mónica, (2011), Efecto de la Deshidratación por radiación infrarroja sobre alguna característica fisicoquímica de interés comercial de aloe vera (*Aloe barbadensi*), Tesis de Magíster en Diseño y Gestión de procesos Énfasis Alimentos, Universidad de la Sabana, Chía.

Mittal, GS, 1999. Difusividad masiva de productos alimenticios. Food Res. En t. 15, 19–66.

Moscone, E.A., Scaldaferrro, M.A. Grabiele, M. Cecchini, N.M, Sánchez García y Jarret, R. Daviña J. R. Ducasse, D.A. Barboza, G.E. Ehrendorfer, F. 2007. The evolution of chili peppers (*Capsicum* – *Solanaceae*): a cytogenetic perspective. Acta Hort. (ISHS) 745: 137-170.

Moradi, M., Azizi, S., Niakosari, M., Kamgar, S y Khaneghah, S.2019. Drying of green bell pepper slices using an IR-assisted Spouted Bed Dryer: An assessment of drying kinetics and energy consumption, *Journal of Food Engineering* (60) 102-280.

Morrillo, A. (2015). *Caracterización Analítica y Diferenciación Geográfica de Pimentón mediante técnica de Reconocimiento de Patrones* (Doctorado). Universidad de Sevilla, Facultad de Química; Departamento de Química Analítica.

Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., & Powers, J. R. (2003b). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 36, 507–516.

Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window deshydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*, 25 (1), 37–48.

Nindo, C. I., Feng, H., Shen, G. Q., Tang, J., & Kang, D. H. (2003a). Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(2), 117–136

Ortega F., (2013). *Determinación de los parámetros cinéticos de transferencia de masa, color y fuerza máxima de fracturas de rodajas de yuca (Manihot esculenta Crantz) Sometidas a freído por Inmersión*, Tesis Master en Ciencias Agroalimentarias con énfasis en Ingeniería, Universidad de Córdoba, Montería-Sede Berastegui.

Ortiz Mónica.,(2014), MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SECADO DE ALIMENTOS POR EL MÉTODO DE VENTANA DE REFRACTANCIA, Tesis de doctorado Énfasis en Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Valle del Cauca.

Park, CR, Lee, KJ, 1975. Un estudio sobre la influencia de los métodos de secado sobre los cambios químicos en el pimiento rojo. Parte. 2. Cambios de aminoácidos libres, azúcar libre. Korean J. Nutr. 8, 33–37.

Rodríguez, E. 2009. Efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum spp.*) Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 149 p

Thampi, PSS. 2003. A glimpse of the world trade in *Capsicum*. En: Krishna De, A. (Eds.). *Capsicum: The Genus Capsicum*. CRC Publisher. 16-24.

Tang, Z.X., Shi, L.E., Aleid, S.M., 2013. Date fruit: chemical composition, nutritional and medicinal values, products. J.Sci. Food Agric. 93, 2351–2361.

Yang,X., Deng, L., Mujumdar, A., Xiao y Zhang, Q.2018. Evolution and modeling of colour changes of red pepper (*Capsicum annuum* L.) during hot air drying, Journal of Food Engineering (231) 101-108.

Zogzas, NP, Maroulis, ZB, Marinos-Kouris, D., 1996. Compilación de datos de difusividad de humedad lación en productos alimenticios. *Drying Technol.* 14 (10), 2225–2253.

Zhou, Y., Vidyarthi, S., Shan Zhong, C., Zheng, Z. and Xiao, H., 2020. El plasma frío mejora el secado y el color, la proporción de rehidratación y los polifenoles de la baya de goji mediante la alteración de la microestructura y la ultraestructura. In: 4th ed. China

ANEXOS

ANEXO A. Evidencias del proceso de secado de Ají dulce (*Capsicum annum*) en dos estados de madurez.





ANEXO B. Análisis de Varianza de Color en ambos estados de Madurez

Tabla ANOVA para L* por T(°C)

Análisis de Varianza para L - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	29,2912	2	14,6456	2,07	0,3260
B:Estados de madurez	14,6205	1	14,6205	2,06	0,2873
INTERACCIONES					
AB	19,2512	2	9,62562	1,36	0,4239
RESIDUOS	14,165	2	7,0825		
TOTAL (CORREGIDO)	74,4687	7			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de L en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre L con un 95,0% de nivel de confianza.

Gráfico de Interacciones

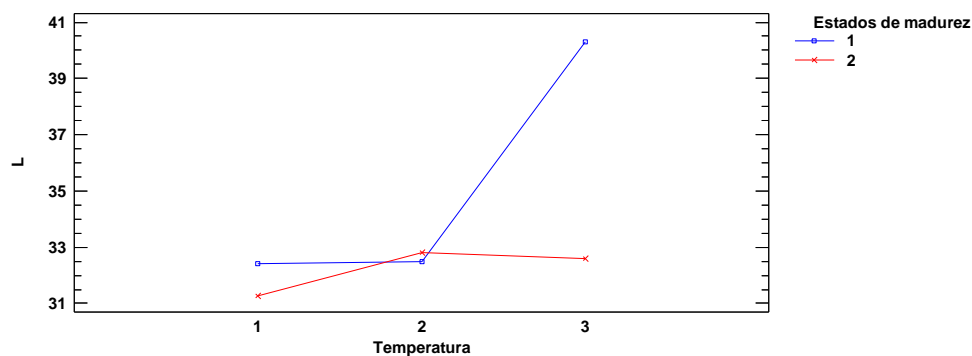


Tabla ANOVA para a* por T(°C)

Análisis de Varianza para a - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	738,967	2	369,484	1,51	0,3990
B:Estado de madurez	7,3205	1	7,3205	0,03	0,8788
INTERACCIONES					
AB	111,222	2	55,6112	0,23	0,8152
RESIDUOS	490,625	2	245,313		
TOTAL (CORREGIDO)	1340,82	7			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de a en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre a con un 95,0% de nivel de confianza.

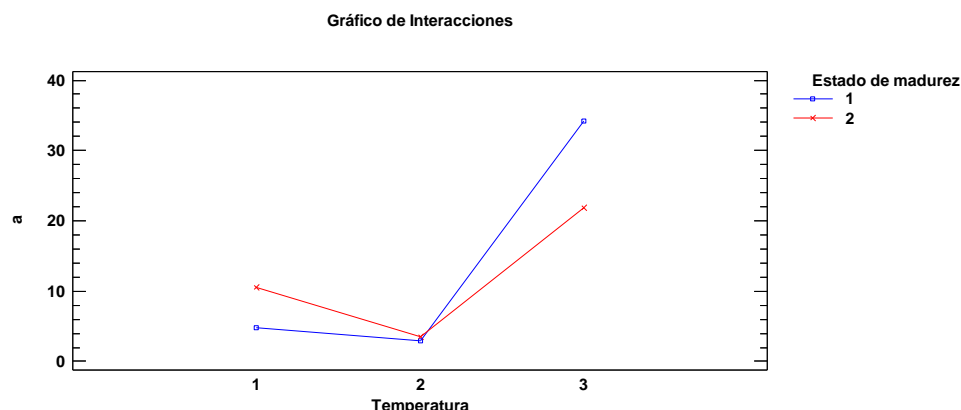


Tabla ANOVA para b* por T(°C)

Análisis de Varianza para b - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	198,48	2	99,24	3,45	0,2249
B:Estado de madurez	57,122	1	57,122	1,98	0,2944
INTERACCIONES					
AB	74,46	2	37,23	1,29	0,4362
RESIDUOS	57,6	2	28,8		
TOTAL (CORREGIDO)	380,54	7			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de b en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre b con un 95,0% de nivel de confianza.

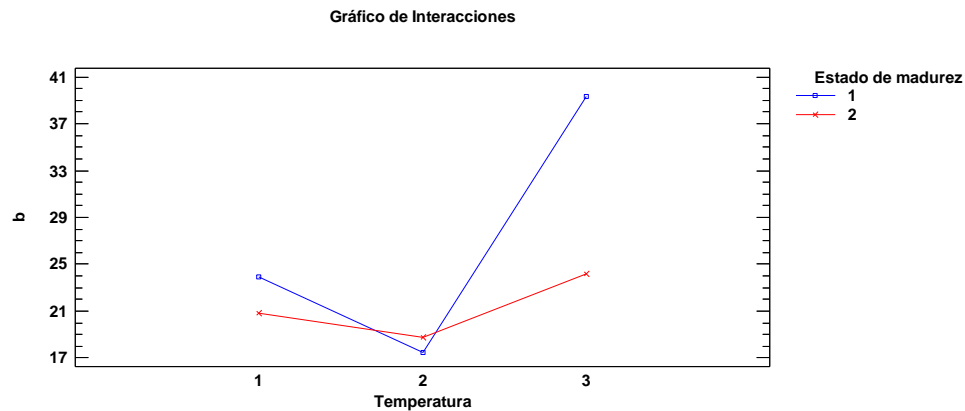


Tabla ANOVA para ΔE por T(°C)

Análisis de Varianza para ΔE - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	178,013	2	89,0067		
B:Estado de madurez	13,2017	1	13,2017		
INTERACCIONES					
AB	4,85333	2	2,42667		
RESIDUOS	0	0			
TOTAL (CORREGIDO)	196,068	5			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de ΔE en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre ΔE con un 95,0% de nivel de confianza.

